

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-206869

(43) 公開日 平成8年(1996)8月13日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
B 2 3 K	26/12			
	26/00	E		
		M		
	26/06	A		
	31/00	F		

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 22 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平7-18087

(22) 出願日 平成7年(1995)2月6日

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(71) 出願人 000221018

東芝エンジニアリング株式会社

神奈川県川崎市幸区堀川町66番2

(72) 発明者 岡崎 幸基

神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株式会社東芝横浜事業所内

(72) 発明者 伊藤 新

神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株式会社東芝横浜事業所内

(74) 代理人 弁理士 波多野 久 (外1名)

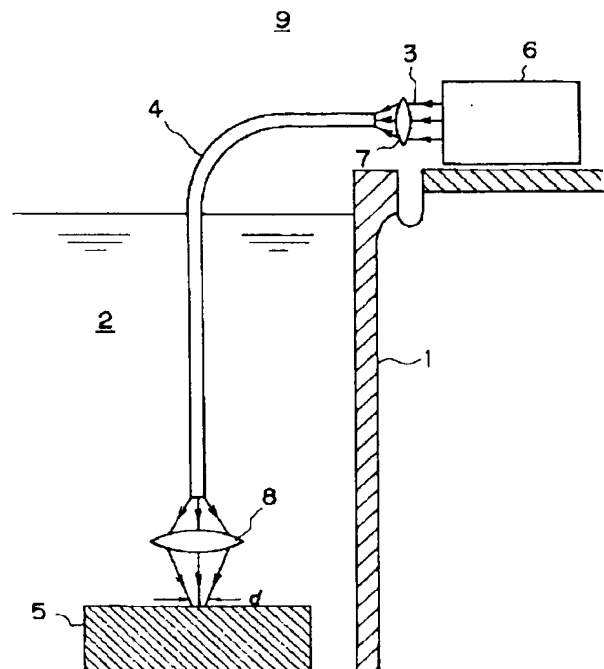
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 水中レーザー加工方法および装置

(57) 【要約】

【目的】 原子炉内部構造物の予防保全および補修に係る表面応力改善、亀裂除去、クラッド除去等の作業が簡便かつ高品質で、しかも周辺機器に悪影響を及ぼすことなく行え、さらに狭隙部への適用性にも優れた水中レーザー加工方法および装置を提供する。

【構成】 冷却水2に浸漬された構造物5の表面に、可視波長を持つ高出力、短パルスのレーザービーム3を照射し、その構造物5の材料表面の残留応力改善、亀裂除去またはクラッド除去を行う。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 冷却水に浸漬された構造物の表面に、可視波長を持つ高出力、短パルスのレーザービームを照射し、前記構造物表面の材料の残留応力改善、亀裂除去またはクラッド除去を行うことを特徴とする水中レーザー加工方法。

【請求項2】 請求項1記載の水中レーザー加工方法において、原子炉の内部構造物表面の材料にパルス幅が100nsec以下で可視波長を持つレーザービームを、1パルス当りのピーク出力0.1～10GW/cm<sup>2</sup>、照射ビームの重畳率が100%以上となる条件で照射して、前記構造物の材料表面の残留応力を圧縮応力に改善することを特徴とする水中レーザー加工方法。

【請求項3】 請求項1に記載の水中レーザー加工方法において、冷却水で満たされた原子炉の内部構造物の材料表面に発生した亀裂を検出し、この亀裂部に対してパルス幅が100nsec以下で可視波長を持つレーザービームを、1パルス当りのピーク出力0.1～10GW/cm<sup>2</sup>の条件で、亀裂部がアブレーション除去される状況をモニタしながら照射し、亀裂を除去することを特徴とする水中レーザー加工方法。

【請求項4】 原子炉の内部構造物表面に発生した亀裂の除去を行った後、請求項1記載の処理を施すことにより、亀裂除去後の材料表面の応力改善を行うことを特徴とする水中レーザー加工方法。

【請求項5】 請求項1記載の水中レーザービームの照射を行うことにより、冷却水で満たされた原子炉の内部構造物の表面に蓄積したクラッドの除去を行いながら、材料表面の応力改善を行うことを特徴とする水中レーザー加工方法。

【請求項6】 冷却水で満たされた原子炉の内部構造物の材料表面にレーザービームを照射して、請求項1から5までに記載の材料表面応力改善、亀裂除去、またはクラッド除去を施す際、その施工全体範囲、施工単位領域および施工条件を、予め実施した探傷検査および表面状態検査と構造物図面とに基づいて作成したマップに従って自動的に制御することを特徴とする水中レーザー加工方法。

【請求項7】 金属材料を収納した水容器内に上方から吊下げられ、加工位置に可視波長を持つレーザービームを照射するパルスレーザー装置と、このパルスレーザー装置で発生したレーザービームの1パルス当りの出力を調整するビーム強度調整装置と、照射ビームのスポット径と重畳率とを調整する機構を有する加工ヘッドとを備えたことを特徴とする水中レーザー加工装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は例えば原子力発電プラント等における予防保全および補修技術に係り、特に冷却水中で金属構造物の表面の残留応力改善、亀裂除去、ク

ラッド除去等を行う場合に好適な水中レーザー加工方法および装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 例えば軽水炉の炉内構造物は、高温高压環境下において十分な耐食性と高温強度を有する材料、例えばオーステナイトステンレス鋼あるいはニッケル基合金等によって構成されている。

【0003】 しかしながら、炉内構造物の内、交換が困難な部材については、これらの部材がプラントの長期にわたる運転により長期間高温高压環境下に晒され、しかも炉心シュラウドなどの炉心材料は中性子照射を受けるため、それらが原因となって起こる材料劣化の問題が懸念されている。

【0004】 特に炉内構造物の溶接部近傍は、溶接入熱による材料の鋭敏化および引張応力の残留のため、潜在的な応力腐食割れ発生の危険性を有している。

【0005】 最近、プラントの運転期間の長期化に対応して、予防保全対策として種々の材料表面改良技術の開発が行われている。その一環として、材料表面の応力を積極的に引張から圧縮に変えることによって、応力腐食割れを未然に防止するための対策が検討され、例えば、ショットピーニングあるいはウォータージェットピーニングなどの方法による表面材料応力改善技術が開発されている。

【0006】 ショットピーニングは0.3mm～1.2mm程度の径の鋼球を高圧空気あるいは遠心力を利用して加速し、鋼球の運動エネルギーにより施工部表面を塑性変形させることにより、表面に圧縮残留応力を形成する技術である。

【0007】 また、ウォータージェットピーニングは、1000気圧程度の超高压水をノズル先端から噴射し、水撃作用およびキャビテーションが破壊する際の衝撃波により、表面に圧縮応力を形成する技術である。これら両技術とも、水中での施工により応力腐食割れに対する有効性が実証され、一部は実用化されている。

【0008】 また、上記炉内構造物の溶接部近傍、あるいは振動環境下にある構造物は、プラントの長期にわたる運転中に応力腐食割れや疲労破壊による亀裂の発生や進展、さらにそれらによる割れに対する感受性の鋭敏化が懸念されており、対策が検討されている。

【0009】 例えば、構造物の表面に亀裂が発生した場合に亀裂部分を放電加工により除去し、構造物材料の応力集中を緩和して亀裂の進展を抑止する対策工法が行われている。放電加工は電極と被加工材料との間に電圧を加えて放電を発生させ、被加工材料を溶融して吹き飛ばす加工法であり、この対策工法も一部実用化されている。

【0010】 なお、炉内構造物の表面にはFe, Cu, Ni等を含んだクラッドが付着することが知られている。クラッドは放射性物質をトラップするので、補修や

予防保全を行う作業員の被曝増加原因となるおそれがある。特に、燃料要素に付着したクラッドは冷却水による燃料要素の冷却効果を阻害し、酸化の加速を招き、さらには燃料破壊に至らしめる場合がある。

【0011】このような炉内構造物の表面に付着したクラッドの除去に関しては、現在、ウォータージェットピーニング等の高圧水流を利用した除去方法が定期的に実施されている。また、放電加工あるいは超音波を照射してクラッドを剥ぎ取る方法や、ショットピーニングを応用し鋼球による衝撃力を弱くしてクラッドを除去する方法なども検討されている。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】ところで、ショットピーニング等の鋼球を用いる方法では、炉心シールドと原子炉圧力容器との間のアニュラス部などの狭隙部の構造物に加工を施す場合には、鋼球を完全に回収することが困難である。また、鋼球を高圧水あるいは高圧空気で搬送するための高圧配管が必要であり、簡便な加工方法とは言い難い。また、大気中で施工する場合には粉塵の発生を伴う問題が生じる。

【0013】ウォータージェットピーニング等の高圧水を用いる方法では、噴流水の反力のため周辺機器への負荷が大きく、また狭隙部で遠隔操作により精密な加工を行う自動機を開発することは困難である。

【0014】放電加工には、被加工材料への熱影響が大きいという問題があり、超音波法では、超音波が到達し難い狭隙部には適用が困難である。

【0015】すなわち、上記した加工法はいずれも、簡便性、狭隙部への適用性、周辺機器への影響、品質の点等で問題があり、すべてが満足されているとは言い難い。また、予防保全および補修に係る表面応力改善、亀裂除去、クラッド除去の3種類の技術すべてに適用することも極めて困難である。

【0016】本発明はこのような事情に鑑みてなされたもので、その目的は、原子炉内部構造物の予防保全および補修に係る表面応力改善、亀裂除去、クラッド除去等の作業が簡便かつ高品質で、しかも周辺機器に悪影響を及ぼすことなく行え、さらに狭隙部への適用性にも優れた水中レーザー加工方法および装置を提供することにある。

【0017】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するために、請求項1の発明は、冷却水に浸漬された構造物の表面に、可視波長を持つ高出力、短パルスのレーザービームを照射し、前記構造物の材料表面の残留応力改善、亀裂除去またはクラッド除去を行うことを特徴とする。

【0018】請求項2の発明は、請求項1記載の水中レーザー加工方法において、原子炉の内部構造物表面の材料にパルス幅が100nsec以下で可視光波長を持つレーザービームを、1パルス当りのピーク出力0.1～10GW

/cm<sup>2</sup>、照射ビームの重畳率が100%以上となる条件で照射して、前記構造物の材料表面の残留応力を圧縮応力に改善することを特徴とする。

【0019】請求項3の発明は、請求項1記載の水中レーザー加工方法において、冷却水で満たされた原子炉の内部構造物表面の材料に発生した亀裂を検出し、この亀裂部に対してパルス幅が100nsec以下で可視波長を持つレーザービームを、1パルス当りのピーク出力0.1～10GW/cm<sup>2</sup>の条件で、亀裂部がアブレーション除去される状況をモニタしながら照射し、亀裂を除去することを特徴とする。

【0020】請求項4の発明は、原子炉の内部構造物表面に発生した亀裂の除去を行った後、請求項1記載の処理を施すことにより、亀裂除去後の材料表面の応力改善を行うことを特徴とする。

【0021】請求項5の発明は、請求項1記載の水中レーザービームの照射を行うことにより、冷却水で満たされた原子炉の内部構造物の表面に蓄積したクラッドの除去を行いながら、材料表面の応力改善を行うことを特徴とする。

【0022】請求項6の発明は、冷却水で満たされた原子炉の内部構造物の材料表面にレーザービームを照射して、請求項1から5までに記載の材料表面応力改善、亀裂除去、またはクラッド除去を施す際、その施工全体範囲、施工単位領域および施工条件を、予め実施した探傷検査および表面状態検査と構造物図面とに基づいて作成したマップに従って自動的に制御することを特徴とする。

【0023】請求項7の発明は、金属材料を収納した水容器内に上方から吊下げられ、加工位置に可視波長を持つレーザービームを照射するパルスレーザー装置と、このパルスレーザー装置で発生したレーザービームの1パルス当りの出力を調整するビーム強度調整装置と、照射ビームのスポット径と重畳率とを調整する機構を有する加工ヘッドとを備えたことを特徴とする。

【0024】

【作用】可視波長を持つレーザービームは水中透過性が高いため、水中で被加工材に直接照射することができる。可視波長を持ち、高出力かつ短パルスのレーザービームを炉水中で原子炉内部構造物の材料表面に照射すると、材料表面の原子が瞬間的に熔融して蒸発し、プラズマが発生する。

【0025】発生したプラズマは水の慣性力により体積膨張が抑制されるため極めて高圧になり、その結果、材料表面は塑性変形して圧縮応力が残留する。材料表面における圧縮応力の残留は応力腐食割れの防止につながり、原子炉内部構造物の表面残留応力を改善することができる。

【0026】原子炉内部構造物の表面に亀裂が生じた場合、亀裂発生部分に可視波長を持ち、高出力かつ短パル

スのレーザービームを繰り返し照射して、この部分の材料を徐々に蒸発させ、亀裂を除去することができる。このように亀裂除去を行うことにより、構造材の応力集中を緩和し、亀裂の進展を抑止することができる。

【0027】原子炉内部構造物の表面にクラッドが蓄積している場合、このクラッドが蓄積している材料表面に、可視波長を持ち、高出力かつ短パルスのレーザービームを照射すると、上記のように材料表面に高圧のプラズマが発生するが、このときの衝撃力によりクラッドを材料表面から引き剥し除去することができる。

【0028】したがって、上述した方法および装置を用いることにより、原子炉内部構造物の、表面応力の改善、亀裂除去、クラッド除去を行うことができる。

【0029】また、上記のようなレーザービームを用いた加工方法は、高エネルギーを光ファイバで伝送するので、ショットピーニングと異なり鋼球を高圧水あるいは高圧空気で搬送するための高圧配管を使用する等の必要がなく、取扱いが簡便である。

【0030】また、上記したように、可視光であるレーザービームは水中を直接伝送できるため、冷却水中での直接施工が可能である。このため、作業前に炉内の冷却水を抜く必要がない。水は放射線の遮蔽効果が高いので、作業員の被曝低減も期待できる。

【0031】しかも、レーザービーム照射の場合には機械的な反力がないため、装置の制御が容易であり、高精度の加工が行える。また、レーザービームのパルス幅を短くした場合、被加工材料への熱伝導による熱影響が小さい加工ができる。

【0032】さらに、レーザー照射時に材料表面から放出される表面構成材料の粉およびクラッドは、これを加工ヘッド内部に吸い込んでトラップすることにより、水質への悪影響を防ぐことができる。なお、この吸い込みによって生じる水流、あるいはレーザービームの光路上の気泡除去を目的として発生させる水流は弱く、周辺機器への影響は小さい。レーザービームを光ファイバで伝送すれば、加工ヘッドを小型化でき、狭隙部へ適用が可能となる。

【0033】したがって、簡便、高品質で、しかも周辺機器に悪影響を及ぼさず、狭隙部へ無の適用性がよい水中加工方法および装置を提供することができる。

#### 【0034】

【実施例】以下、本発明の実施例を図面を参照して説明する。

#### 【0035】実施例1（図1～図6）

本実施例は、冷却水で満たされた原子炉内部構造物の材料表面にパルス幅が100nsec以下で、可視波長を持つレーザービームを、1パルス当りのピーク出力0.1～1.0GW/cm<sup>2</sup>、照射ビームの重畳率が100%以上となる条件で照射して、構造物表面の残留応力を圧縮応力に改善する水中レーザー加工方法についてのものである。

【0036】図1に示すように、原子炉压力容器1が冷却水2で満たされている。この原子力発電プラントの内部にレーザービーム3を光ファイバ4で導き、原子炉内部構造物5の表面の残留応力改善を行うようにしている。

【0037】即ち、原子炉压力容器1の外部にはパルスレーザー装置6が設置され、このパルスレーザー装置6は銅蒸気レーザーあるいはYAGレーザー（第2高調波発生用）等の可視波長パルスレーザー装置で、発振するレーザービームのパルス幅は100nsec以下である。

【0038】レーザービーム3は入射レンズ7、光ファイバ4を通じて、冷却水2で満たされた原子炉压力容器1の内部に導かれ、集光レンズ8により1パルス当りのピーク出力が0.1～1.0GW/cm<sup>2</sup>の光に集光され（直径d）、冷却水2中の雰囲気中で原子炉内部構造物5の材料表面（特に溶接線部分など）に照射される。

【0039】図2は、本実施例におけるレーザービーム3の照射方法を示す図である。即ち、本実施例では同図に示すように、レーザービーム3を原子炉内部構造物5の表面で走査させることにより連続的に照射し、レーザービーム3の照射スポット10が重なり合うように施工する。このとき、被加工面にレーザービーム3の未照射領域を作らないようにし、照射スポット10の直径を変えて照射するなどして、レーザービーム3の照射スポット10の平均重畳率を100%以上にする。

【0040】このような実施例1の方法によると、以下の作用および効果が得られる。

【0041】即ち、可視波長を持ち、パルス幅100nsec以下で、ピーク出力0.1～1.0GW/cm<sup>2</sup>のレーザービーム3を原子炉内部構造物5の材料表面に照射すると、材料の極表面層の原子が瞬間的に熔融して蒸発し、プラズマが発生する。発生するプラズマは、冷却水2中の雰囲気では水の慣性力により体積膨張が抑制されて極めて高圧になり、数百MPa～数十GPaに達する。この衝撃的な高圧力によって材料表面が塑性変形し、圧縮応力が残留する。

【0042】可視波長のレーザービーム3を使用する理由は、水中透過性が良く、水中加工に適しているからである。パルス幅を100nsec以下とする理由は、100nsec超では材料に熱影響を与え、材料の耐食性を低下させるおそれがあるからである。ピーク出力を0.1～1.0GW/cm<sup>2</sup>とする理由は、0.1GW/cm<sup>2</sup>未満では材料表面層の原子を熔融して蒸発させ、プラズマを発生させることが十分にできないおそれがあり、1.0GW/cm<sup>2</sup>超では強い電界により水が電離し、レーザービーム3の集光が難しくなるおそれがあるためである。

【0043】上記のレーザービーム3を走査により連続的に照射し、レーザービーム3の照射スポット10が重なり合うように施工することによって、被加工面全体に効率よく均質に圧縮応力を残留させることができる。なお、本実施例では被照射部分の急冷を防ぐ効果もあるため、

従来のような急冷による被加工材料の割れも生じ難い。

【0044】また、上記のようなレーザを用いた加工においては、高エネルギーを光ファイバ4で伝送するので、ショットピーニングと異なり鋼球を高圧水あるいは高圧空気で搬送するための高圧配管を使用する等の必要がなく、取扱いが簡便である。また、可視光レーザは水中で直接伝送できるため、冷却水2中で直接施工ができる。このため、作業前に炉内の冷却水2を抜く必要がない。水は放射線の遮蔽効果が高いので、作業員の被曝低減も期待できる。

【0045】しかも、レーザ照射の場合には機械的な反力がないため、装置の制御が容易で高精度の加工が行え、またレーザのパルス幅が短いため、被加工材料への熱伝導による熱影響が小さい加工が行える。また、レーザビーム3を光ファイバ4によって伝送するので加工ヘッドを小型化でき、狭隙部への施工が可能となる。

【0046】したがって、以上の実施例1の方法によれば、原子炉内の構造物の予防保全および補修等の加工が簡便かつ高品質で、しかも狭隙部への優れた適用性をもって行える等の効果が奏される。

【0047】次に、実施例1における第1変形例について説明する。この変形例は、照射スポット10の直径dと、照射ビームの重畳率の条件とを調節することにより、材料表面の残留応力値と材料内部の残留圧縮応力が及ぶ深さとを任意に制御する水中レーザ加工方法についてのものである。

【0048】この第1変形例では、材料表面の残留応力値と材料内部の残留圧縮応力が及ぶ深さを任意に制御することを目的として、照射スポット10の直径dと照射ビームの重畳率とを調節する。

【0049】レーザビーム3を集光して材料表面に照射するとき、照射スポット10の直径dを変え、1パルス当りのパワーの面積密度(単位:  $\text{GW}/\text{cm}^2$ )を変化させることができる。そして、材料表面の残留応力値と材料内部の残留圧縮応力が及ぶ深さは、この1パルス当りのパワーの面積密度に強く依存している。一方、これらの2つの物理量は照射ビームの重畳率にも強く依存している。

【0050】したがって、照射スポット10の直径と照射ビームの重畳率の2つの条件を調節することにより、材料表面の残留応力値と材料内部の残留圧縮応力が及ぶ深さの2つの量を任意に制御することができる。

【0051】次に、実施例1における第2変形例について図3および図4を参照して説明する。この変形例は、レーザビーム3を照射する施工単位領域11において、所定パルス数のレーザビームを1列照射した後、次の列に移行する際、レーザ照射パルス間に移行が終了するように、ビームの走査速度を大きくすることにより、一方方向にのみビーム照射を行う水中レーザ加工方法についてのものである。

【0052】図3は、これまで知られている典型的なレーザビーム3の照射方法を示したものである。まず、走査速度vでパルスレーザビームを1列照射した後、同じ走査速度vでパルスレーザビームを照射しつつ次の列に移行し、再び走査速度vでパルスレーザビームを1列照射していく。通常、レーザパルスは一定の周期で発振するため、このように次列に移行する間もパルスレーザビームは照射される。

【0053】これに対し、図4は、この第2変形例による方法を示したもので、次列に移行する間の走査速度v'を、レーザ照射パルス間に移行が終了するように、極めて高速とするものである。

【0054】このような第2変形例によると、図3に示した典型的なレーザビーム3の照射方法では照射スポット10位置の走査の折り返し部分で照射ビーム重畳率の分布が片寄りおそれがあるのに対し、図4に示す如く、次列に移行する間の走査速度v'をレーザ照射パルス間に移行が終了するように極めて高速にし、次列に移行する間の照射回数を0回とすることにより、折り返し部分での照射ビーム重畳率の分布の片寄りをなくし、照射ビーム重畳率の不均一性を小さくすることができる。

【0055】このように、この変形例では照射ビームの重畳率不均一性を小さくできるので、被加工面に対して、均質に圧縮応力を残留させることができる。

【0056】次に、実施例における第3変形例について、図5および図6を参照して説明する。この変形例は、レーザビーム3の照射スポット10の形状を楕円形(図5)または長方形(図6)に整形する水中レーザ加工方法についてのものである。

【0057】即ち、原子炉内部構造物5の表面に、例えば図のy方向に強い引張応力が残留しているものとする。この場合、照射スポット10の形状をy方向に長軸を持つ楕円形、あるいはy方向に長辺を持つ長方形に整形し、照射位置を走査して連続的に照射することで、アブレーションにより発生する衝撃波をy方向について均質とし、x方向よりもy方向に強い圧縮応力を加えることができ、y方向の残留応力を引張から圧縮に変えることができる。したがって、この第3変形例によれば、特定の方向について残留応力を改善することができる。

【0058】実施例2(図7) 本実施例は、冷却水中にある原子炉内部構造物の表面に発生した亀裂を検出し、この亀裂部に対して、パルス幅が100nsec以下で可視波長を持つレーザビームを、1パルス当りのピーク出力0.1~10  $\text{GW}/\text{cm}^2$ の条件で、その鋭角あるいは亀裂部がアブレーション除去される状況をモニタしながら照射し、亀裂を完全に除去する水中レーザ加工方法についてのものである。

【0059】即ち、図7に示すように、加工ヘッド12に取り付けられたCCDカメラ13により原子炉内部構造物5表面を調査し、亀裂14の発生がモニタTV15

で認められた場合に亀裂部にレーザービーム3を照射する。なお、CCDカメラ13とモニターTV15とは信号ケーブル16で接続されている。レーザービーム3としては、原子炉压力容器1の外部に設置された銅蒸気レーザーあるいはYAGレーザー(第2高調波発生用)等のパルスレーザー装置6から発振されたパルス幅が100nsec以下で可視波長を持つレーザービームを用い、入射レンズ7と光ファイバ4とを通じて冷却水2で満たされた原子炉压力容器1の内部に導き、集光レンズ8により集光し1パルス当りのピーク出力を0.1~10GW/cm<sup>2</sup>とする。このレーザービーム3の照射を、加工ヘッド12に取り付けたCCDカメラ13により亀裂14のアブレーション除去状況をモニタしながら、亀裂14が完全に除去されるまで繰り返し続ける。

【0060】この実施例2の方法では、可視波長を持ち、かつパルス幅100nsec以下で、ピーク出力0.1~10GW/cm<sup>2</sup>のレーザービーム3を、冷却水2中の雰囲気中で原子炉内部構造物5の材料表面に照射することで、材料の極表層の原子が瞬間的に溶融して蒸発する。この現象はアブレーションと呼ばれている。このレーザービーム3を亀裂部に繰り返し照射することにより、亀裂部の材料をアブレーションにより徐々に除去し、最終的に亀裂14を完全に除去することができる。

【0061】可視波長のレーザービーム3を使用する理由は、水中透過性が良く水中加工に適しているからである。上記パルス幅とする理由は、100nsec超では材料に熱影響を与え、材料の耐食性を低下させるおそれがあるからである。

【0062】ピーク出力を0.1~10GW/cm<sup>2</sup>とする理由は、0.1GW/cm<sup>2</sup>未満では材料表層の原子を瞬間的に溶融して蒸発させることが不十分となるおそれがあり、10GW/cm<sup>2</sup>超では、強い電界によって水が電離し、レーザービーム3の集光が難しくなるおそれがあるためである。

【0063】また、上記のようなレーザー照射による加工の場合には機械的な反力がないため、装置の制御が容易で高精度の加工が行える。また、可視レーザーは水中を直接伝送できるため冷却水中での直接加工が行え、作業前に炉内の冷却水2を抜く必要がない。水は放射線の遮蔽効果が高いので、作業員の被曝低減も期待できる。

【0064】しかも、レーザーのパルス幅が短かいため、被加工材料への熱伝導による熱影響が小さい。また、レーザービーム3を光ファイバ4を用いて伝送するので、加工ヘッド12を小型化でき狭隙部への施工が可能となる。

【0065】したがって、実施例2の方法によれば、高品質および狭隙部への適用性の向上等が図れる。

#### 【0066】実施例3

本実施例は、原子炉内部構造物の表面に発生した亀裂除去を行った後、亀裂除去後の材料表面に残留応力改善処

理を施す水中レーザー加工方法についてのものである。

【0067】即ち、実施例2の方法を用いて、原子炉内部構造物5表面に発生した亀裂14を完全に除去した後、実施例1の方法を用いて、亀裂除去後の材料表面の残留応力を改善するものである。

【0068】このような実施例3の方法によれば、亀裂発生部分に実施例2の方法を施した後、実施例1の方法を施すことにより、亀裂14を除去し、構造物の応力集中を緩和して亀裂14の進展を抑止することができ、さらに亀裂除去後の材料表面に応力腐食割れを防止するために十分な圧縮応力を残留させることができる。

#### 【0069】実施例4(図8)

本実施例は、図8に示すように、冷却水2で満たされクラッド17が蓄積した原子炉内部構造物5の表面に、パルス幅100nsec以下で可視波長を持つレーザービーム3を1パルス当りのピーク出力0.1~10GW/cm<sup>2</sup>、照射ビームの重量畳率が100%以上となる条件で照射して、材料表面に蓄積したクラッド17を除去すると同時に、材料表面の残留応力の改善を行う水中レーザー加工方法についてのものである。

【0070】レーザービーム3は光ファイバ4で原子炉压力容器1内部に導き、モニタしながら原子炉内部構造物5表面のクラッド除去と残留応力改善とを行う。

【0071】この場合、加工ヘッド12に取り付けられたCCDカメラ13により、原子炉内部構造物5表面の調査を行い、クラッド17の蓄積が認められたら、クラッド蓄積部分にレーザービーム3を照射する。レーザービーム3は原子炉压力容器1の外部に設置された銅蒸気レーザーあるいはYAGレーザー(第2高調波用)等のパルスレーザー装置6から発振されたパルス幅が100nsec以下で可視波長を有するレーザーパルスを入射レンズ7と光ファイバ4とを通じて冷却水2で満たされた原子炉压力容器1内部に導き、集光レンズ8により集光して1パルス当りのピーク出力を0.1~10GW/cm<sup>2</sup>にしたものを用いる。

【0072】この実施例4においても、前記実施例1と同様に、レーザービーム3の照射を走査により連続的に実施し、レーザービーム3の照射スポット10が重なり合うように施工する。このとき、被加工面にレーザービーム3の未照射領域を作らないようにし、照射スポット10直径の大きさを变化させるなどして、照射ビームの平均重量畳率を100%以上とする。ビーム照射の間、CCDカメラ13によりクラッド17の除去状況をモニタする。単位照射領域の照射を終了した後、CCDカメラ13による検査を行い、その結果、クラッド17の付着が認められた場合には、クラッド17が完全に除去されるまで、この単位照射領域に上記照射を繰り返す。

【0073】このような実施例4の方法によると、可視波長を持ち、かつパルス幅100nsec以下でピーク出力0.1~10GW/cm<sup>2</sup>のレーザービーム3を、クラッド

17が蓄積した原子炉内部構造物5の表面に照射することで、クラッド17および構造物材料表層の原子が瞬間的に溶融して蒸発しプラズマが発生する。発生するプラズマは冷却水2中の雰囲気では水の慣性力により体積膨張が抑制されて極めて高圧になり、数百MPa～数十GPaに達する。この衝撃力によりクラッド17が材料表面から引き剥されて除去されるとともに、材料表面が塑性変形して圧縮応力が残留する。

【0074】可視波長のレーザービーム3を使用する理由は、水中透過性が良く水中加工に適しているからである。上記パルス幅とする理由は、100nsec超では材料に熱影響を与え、材料の耐食性を低下させるおそれがあるからである。上記ピーク出力とする理由は、0.1GW/cm<sup>2</sup>未満では材料表層の原子を溶融して蒸発させプラズマを発生させることが不十分となるおそれがあり、10GW/cm<sup>2</sup>超では強い電界によって水が電離し、レーザービーム3の集光が難しくなるおそれがあるためである。

【0075】上記のレーザービーム3の照射を走査により連続的に実施し、レーザービーム3の照射スポット10が重なり合うように施工することによって、被加工面全体のクラッド除去と残留応力改善を効率よく均質に行うことができる。なお、本実施例においても被照射部分の急冷を防ぐ効果もあるため、急冷による被加工材料の割れも防止することができる。

【0076】また、上記のようなレーザービームを用いた加工は高エネルギーを光ファイバ4で伝送し、ショットピーニングのように鋼球を高圧水あるいは高圧空気で搬送するための高圧配管を使用する必要がないので取扱いが簡便である。また、可視光レーザーは水中を直接伝送できるため、冷却水2中で直接施工ができる。このため作業前に炉内の冷却水2を抜く必要がない。水は放射線の遮蔽効果が高いので作業員の被曝低減も期待できる。

【0077】しかも、レーザー照射の場合には機械的な反力がないため装置の制御が容易で高精度の加工ができる。また、レーザーのパルス幅が短いため被加工材料への熱伝導による熱影響が小さい加工ができる。また、レーザービーム3を光ファイバ4を用いて伝送するので加工ヘッド12を小型化でき、狭隙部への施工が可能となる。

【0078】したがって、上記方法によっても、簡便、高品質で、狭隙部への適用性がよい加工方法を提供することができる。

【0079】実施例5（図9～図11）

本実施例は、冷却水2で満たされた原子炉内部構造物5表面にレーザービーム3を照射して、材料表面の応力改善、亀裂除去、またはクラッド除去を施す際、その施工全体範囲、施工単位領域11、施工条件等を、予め実施した探傷検査、表面状態検査と炉内構造物図面とに基づいたマップを作成し、これに従って施工するようプログラムされた計算機を用いて自動的に施工制御を行う水中

レーザー加工方法についてのものである。

【0080】図9は本実施例による作業手順を示すフローチャートである。

【0081】まず、炉内構造物図面をインプットし（ステップS101）、この図面に基づいて原子炉内部構造物5の表面の探傷検査と表面状態検査を実施する（ステップS102）。検査結果の判定を行い（ステップS103）その結果が良好の場合は終了する。検査の結果、材料表面の残留応力改善、亀裂除去、あるいはクラッド除去が必要であると判断された場合（不良の場合）は、これらの加工を施す際の施工全体範囲、施工単位領域11、および施工条件を計画し施工マップを作成する（ステップS104）。

【0082】そして、施工マップに従って施工するようプログラムされた計算機により自動的に制御しながら（ステップS105）、原子炉内部構造物5表面の残留応力改善、亀裂除去、またはクラッド除去を施す（ステップS106）。その後、再び原子炉内部構造物5表面の探傷検査と表面状態検査とを行い（ステップS102）、検査結果が良好になるまでこの作業ルーチンを繰り返す。

【0083】このような実施例5の方法によると、実施例1、実施例2、および実施例4と同様に、可視波長を有する高出力および短パルスのレーザービーム3を炉水中の雰囲気中で原子炉内部構造物5表面に照射することによって、原子炉内部構造物5の表面応力改善、亀裂除去、およびクラッド除去を行うことができる。

【0084】これらの加工を、予め実施し原子炉内部構造物5の検査と炉内構造物図面に基づいて作成したマップに従って施工することにより、原子炉内部全体に対して構造物表面の応力改善、亀裂除去、およびクラッド除去を総合的に、効率よく実施することができる。

【0085】また、マップに従った施工を行う際、計算機を用いて自動的に施工制御を行うことにより、さらに効率的に施工できる。また、施工と検査を繰り返すことにより信頼性の高い補修あるいは予防保全を行うことができる。

【0086】図10および図11は、この実施例5の変形例を示したものである。この変形例は、2つの施工単位領域11a、11bの境界部11c付近での照射ビームの重畳率を緩かに小さくし、この境界部を重ねるように施工することにより、施工部全体にわたり均一な照射ビームの重畳率の分布を得る水中レーザー加工方法についてのものである。

【0087】このような変形例の方法によると、照射ビームの重畳率の分布が施工単位領域11a、11bの境界部11c付近を含む施工部全体にわたって均一になり、したがって、施工部全体にわたり均一に圧縮応力を残留させることができる。

【0088】実施例6（図12～図25）



本実施例は、原子炉压力容器の炉心シュラウド内表面に水中レーザ加工を施す場合についてのものである。

【0089】即ち、本実施例では、リンク式アームの先端にレーザ照射装置を有する遠隔補修装置を備え、この遠隔補修装置を原子炉压力容器内に上方からワイヤーで吊下げる。そして、遠隔補修装置を、炉心中心部の上部格子板開孔部を通過させて炉心支持板に据付け、パルスレーザ装置で発生した可視光のレーザビームを、レーザ照射位置によって炉心シュラウドに照射する。

【0090】本実施例では1パルス当りの出力を調整する機構を有し、レーザビームは動力ケーブル、信号ケーブルおよび光ファイバを組合せた複合ケーブルの光ファイバを通してリンク式アーム先端のレーザ照射装置に導く。そして、レーザ照射装置の加工ヘッドによって照射レーザのスポット径を調整するとともに、照射レーザビームの重畳率を調整し、一定範囲ずつ揺動走査を行いながらレーザビームを照射して、炉心シュラウド内表面の加工を行うものである。

【0091】図12は、この実施例6の構成および作業の様子を概略的に示している。

【0092】即ち、図12に示すように、原子炉压力容器21の炉心部に設置された上部格子板22と炉心支持板22との間に折畳み式アーム24が設置され、このアーム24の先端の補修作業ユニット取付け台25に、加工ヘッドとしてのレーザビームニング作業ユニット26が取付けられている。

【0093】また、折畳み式アーム24およびレーザビームニング作業ユニット26を駆動および制御するための動力ケーブル、信号ケーブルならびにレーザビームニング作業を行うためのレーザビーム伝送用の光ファイバを束ねた複合ケーブル28が、制御室29から折畳み式アーム24の上端に導かれ、一部はレーザビームニング作業ユニット26まで延長され、結合されている。

【0094】制御室29には、操作盤30、パルスレーザ装置31およびビーム強度調整装置32が設置されている。操作盤30では、パルスレーザ装置31の制御、レーザビームニング作業ユニット26の制御および折畳み式アーム24の制御を行う。

【0095】図12中、33はジェットポンプ、34は炉心シュラウド、35はアニユラス部、36は炉容器下部室を示している。

【0096】図13および図14は、折畳み式アーム24の構成、据付け状態および付随する治工具の取付け構成等を示している。折畳み式アーム24は、縦長な一体型の上部ケース37および下部ケース38内に展開可能に収納したもので、この収納状態において両ケース37、38が天井クレーン（図示せず）にワイヤー39を介して吊下げられ、上部格子板22の開孔部40と炉心支持板23の開孔部41とを貫通して、制御棒駆動装置ハウジング42に設置され、その後展開されている。上

部ケース37の上部に、上部ケース案内装置43と下部ケース案内装置44とが取付けられている。下部ケース案内装置44は、固定用脚45で上部格子板22に固定される。折畳み式アーム24は、エアシリンダ46によってロッド69を伸縮する構成とされている。また、折畳み式アーム28は、ワイヤー48により滑車78aを介してバランスー49と結合されている。なお、図中、符号51は結合棒、66、71はエアシリンダ、74、75はベアリングである。

【0097】折畳み式アーム24の先端には、補修作業ユニット取付け台25が取付けられている。また、補修作業ユニット搬送装置50が、天井クレーン（図示せず）にワイヤー39によって吊下げられ、上部格子板22の上面に固定用脚45aで固定されるようになっている。補修作業ユニット搬送装置50には、補修作業ユニット52が搭載されており、この補修作業ユニット52が折畳み式アーム24の先端の補修作業ユニット取付け台25に受け渡される。

【0098】図15は、レーザビームニング作業ユニット26を示し、炉心シュラウド34の壁53を補修している状態を表している。レーザビームニング作業ユニット26は、取付装置54で折畳み式アーム24の先端の補修作業ユニット取付け台70に嵌合して取付けられている。

【0099】レーザビームニング作業ユニット26には、複合ケーブル28が導かれるとともに、内部にガルバノミラー55を揺動させる揺動装置56と、照射レーザスポット径を調整するためのスポット径調整機構57と、レーザ照射面監視用のCCDカメラ58と、レーザビームニング作業ユニット26を長手方向に駆動するモータ59と、超音波検出器60とが設けられている。CCDカメラ58の前方には、シャッター84が取付けられている。

【0100】また、レーザビームニング作業ユニット26には壁53に向って突出する脚61が取付けられ、この脚61の先端が壁53に接触している。脚61内には、超音波検出器60が取付けられている。図中、符号79は信号ケーブルである。

【0101】このような構成の実施例6の水中レーザ加工装置において、軽水冷却原子炉の点検、補修等の下降を行う場合には、まず、原子炉压力容器21の蓋を外し、原子炉ピット62の床面に遠隔炉内作業装置取扱い装置（図示せず）を設置し、点検および補修装置吊込みクレーン（図示せず）によって原子炉压力容器21の上部に折畳み式アーム24を収納した上部ケース37、およびその下端に接続される下部ケース38を吊込む。

【0102】そして、上部格子板22の開孔部40および炉心支持板23の開孔部41を順次通過させ、下部ケース38の下端を制御棒駆動装置ハウジング42に嵌合させ据付を終了する。



【0103】上部ケース 37 および下部ケース 38 が上部格子板 22 の開孔部 40 を容易に通過できるように、上部ケース案内装置 43 および下部ケース案内据付装置 44 が上部ケース 37 および下部ケース 38 の軸方向（上下方向）に移動できる状態に取付けられ、上部ケース 37 および下部ケース 38 が上部格子板 22 の開孔部 40 を通過するに従い、平面内の回転の位置合せを行う。吊降しを続け、下部ケース案内据付装置 44 を固定用脚 45 で上部格子板 22 に固定し、下部ケース 38 の下端を制御棒駆動機構ハウジング 42 に嵌合し、据付けを終了する。

【0104】折畳み式アーム 24 を上部ケース 37 から上部格子板下方室 68 内で横方向に展開し、上部ケース 37 内に設けられているモータ 63 と組歯車 64 とを介して、折畳み式アーム 24 が取付けられている上部ケース 24 のエアシリンダ 46 を駆動し、ロッド 69 を上部格子板 22 の近くまで上昇させ、上部ケース 37 を垂直軸心周りで回転しながらエアシリンダ 46 を駆動して、ロッド 47 を炉心シュラウド 34 の径方向（横方向）に出し入れして、ロッド 47 の先端に取付けられた補修作業ユニット取付け台 25 を所定の上部格子板 22 の開孔部 40 の下方に移動させる。

【0105】据付け案内装置 65 が取付けられた補修作業ユニット搬送装置 50 に補修作業ユニット 52 を収納した状態で、点検および補修装置吊込みクレーン（図示せず）で原子炉圧力容器 21 に吊り込み、上部格子板 22 の所定の開孔部 40 に据付ける。そして、据付け案内装置 65 に下向きに取付けられた固定用脚 45 で上部格子板 22 に固定する。

【0106】補修作業ユニット 52 を補修作業ユニット搬送装置 50 の下方に押し出し、補修作業ユニット 52 の接続部材 67 と、折畳み式アーム 24 のロッド 47 の先端の補修作業ユニット取付け台 25 とを結合する。

【0107】結合が終了したら、補修作業ユニット搬送装置 50 による補修作業ユニット 52 の把持状態を解除する。この解除が終了したら、折畳み式アーム 24 を上部格子板下方室 68 内で三次元的に移動し、補修作業ユニット 52 を炉心シュラウド 34 の所定の位置に移動させ、捕集作業を行う。

【0108】補修作業ユニット 52 としては、点検および検査作業ユニット、アーク溶接作業ユニット、EDM 作業ユニット、グラインダー作業ユニット、レーザ切断作業ユニット、レーザ溶接作業ユニットおよびレーザビーム作業ユニット等を用いる。

【0109】この実施例 6 では、補修作業ユニット 52 としてレーザビーム作業ユニット 26 等を用い、炉心シュラウド 34 の溶接部の表面を引張り応力状態から圧縮応力状態に表面改質する。

【0110】以下、実施例 6 によるレーザスポット揺動型のレーザビーム作業ユニット 26 を用いた表面改

質法について説明する。

【0111】折畳み式アーム 122 のロッド 47 先端の補修作業ユニット取付け台 70 の嵌合構造部と、レーザスポット揺動型のレーザビーム作業ユニット 26 の取付け装置 54 の嵌合構造部である接続部材 67 とを、互いに結合する。

【0112】ロッド 69 を伸ばし、炉心シュラウド 34 の溶接線等で表面に引張り応力が発生している場所に、レーザスポット揺動型のレーザビーム作業ユニット 26 を移動させ、脚 155 が炉心シュラウド 34 の壁 72 表面に圧接した状態位置で、伸長動作を止める。これにより、レーザスポット揺動型のレーザビーム作業ユニット 26 の設置が終了する。

【0113】次に、図 15 等によって、炉心シュラウド 34 の縦方向の溶接線部を表面改質する場合について説明する。

【0114】揺動装置 56 を駆動すると、ガルバミラー 55 が揺動し、レーザビーム 72 のスポット点 73 は図 15 の紙面垂直方向に一定幅走査する（以下、これを幅方向の掃引という）。

【0115】この走査範囲内に当接溶接部が位置するように、上部ケース 37 内に取付けられているモータ 63 と組歯車 64 とによって、折畳み式アーム 24 を回転させる。

【0116】レーザビーム 72 として、繰返し数が 5 KHz の銅蒸気レーザを用いる。口径が 0.3  $\phi$ mm 程度の光ファイバーを用いる場合、集光組レンズ 76 を用いることにより、レーザビーム 72 を 0.3  $\phi$ mm 程度のスポット径に絞ることができる。銅蒸気レーザのパルス幅は 40 nsec 程度であり、レーザビーム 72 の照射間隔の 200  $\mu$ sec に比べて、照射されている時間は無視できる長さである。

【0117】幅方向の掃引をレーザビームスポットの重なりが無い状態で行う場合、その幅方向の掃引速度を 1.5 m/s 程度にする必要がある。

【0118】レーザビーム 72 の同一点への照射回数  $n$  を複数とするため、幅方向の掃引速度を 1.5 m/s 程度にするか、200  $n$  ( $\mu$ sec) 毎に 1.5 m/s の速度で 0.3 mm 移動させるように、揺動装置 56 を制御する。

【0119】図 15 の上下方向の走査（長手方向の掃引）をレーザビームスポットの重なりが無い状態で行う場合、幅方向の掃引時の照射数  $N$  に 200  $\mu$ sec を乗じた時間毎に、1.5 m/s 程度の掃引速度で 0.3 mm の長手方向の掃引を行う。

【0120】レーザビームスポットを円形とした場合、1.5 m/s 程度の速度で長手方向に 0.3 mm 掃引すると、レーザビーム 72 の照射される回数毎に大きな不均一が長手方向で生じる。この不均一の発生を防ぐために掃引速度を 1.5 m/s 以下にしてレーザビームスポット 77 が、長手方向で一部重なるようにする。

【0121】理想的には、光ファイバの出口部にレーザービーム72のビーム断面形状を矩形にする光学系を入れ、1辺が0.3mmになるレーザービームスポットにすると、1.5m/sの長手方向および幅方向の掃引を行うことにより、一定の幅および長さの範囲にレーザービーム72を複数回照射することができる。

【0122】このようなレーザービーム72の照射装置を用いることにより、現在入手可能な出力500W程度の銅蒸気レーザを用いて、水中で表面改質補修（引張り応力状態から圧縮応力状態に変える補修）を行うことができる。

【0123】一定範囲の表面改質作業が終了したら、ロッド69をエアシリンダ46の作用によって多少縮め、駆動装置78を働かせてワイヤー48を操作し、溶接線に沿ってアームロッドを上下方向に移動して、表面改質が終了した範囲に引き続き表面改質作業ができる位置にレーザスポット揺動型のレーザピーニング作業ユニット26を設置する。

【0124】この移動の間に長手方向駆動モータ145を働かせ、レーザピーニング作業ユニット26の筐体80を作業ユニット接続部材67の一端に移動させる。

【0125】以後、上記の作業を繰り返し、炉心シュラウド22の縦方向の溶接線部の表面改質を行う。作業が終了したら、上部ケース37内に取付けられているモータ63と組歯車64とを介して、折畳み式アーム24を水平支点24aの周りで回動し、次に表面改質を行う縦方向の溶接線部にレーザスポット揺動型のレーザピーニング作業ユニット26を移動させる。

【0126】その時、上部ケース37内に取付けられている駆動装置78を働かせ、ワイヤー47を操作して、ロッド69を上下させる。レーザピーニング作業ユニット26が作業を行う縦方向の溶接線部に設定されたら、上記と同様に溶接部の表面改質作業を行う。

【0127】レーザービーム72の照射とシャッター84の開閉とを連動するように制御し、パルス状のレーザービーム照射が終了した直後にシャッター84を開き、スポット点73周辺の映像を第1反射鏡86および第2反射鏡87を順次に経てCCDカメラ58により撮影し、表面改質作業状況を監視する。

【0128】レーザービーム72が照射された時に、スポット点73で発生した超音波がシュラウド34を介して脚61に伝達されるので、これを超音波検出器60で計測する。超音波の発生量が所定の範囲から外れたら、CCDカメラ58による観察結果も参考にして、スポット径の調整を行う必要があるかを判定する。

【0129】次に、炉心シュラウド34の周方向の溶接部線を表面改質する場合について説明する。この場合には、レーザピーニング作業ユニット26を示す図15における取付け部54の長手方向が紙面に垂直な向きとなるようにして、補修作業ユニット取付け台70と紙面に

垂直な方向で嵌合させる。

【0130】この状態で揺動装置56を駆動すると、ガルバノミラー55が揺動し、パルス状のレーザービーム72のスポット点73が図15の紙面に垂直な方向に一定幅走査する（幅方向の掃引となる）。この走査範囲内に溶接部がくるように、上部ケース37内に取付けられている駆動装置78を働かせ、ワイヤー48を操作してロッド69を上下動して設定する。

【0131】縦方向の溶接線部を表面改質する場合と同様に、一定範囲内の表面加工が終了したら、上部ケース37内に取付けられているモータ63と組歯車64とを介して、折畳み式アーム24を回転して移動させ、表面改質が終了した範囲に引き続き表面改質作業ができる位置に、レーザスポット揺動型のレーザピーニング作業ユニット26を設置する。

【0132】この移動の間に長手方向駆動モータ59を働かせ、筐体80をスクリューねじ94に沿って作業ユニット接続部材67の一端側に移動させる。以後、上記の作業を繰り返し、炉心シュラウド34の周方向の溶接線部の表面改質を行う。

【0133】作業が終了したら、上部ケース37内に取付けられている駆動装置78を働かせ、ワイヤー48を操作してアーム47を上下移動させ、次に表面改質を行う周方向の溶接線部に、レーザスポット揺動型のレーザピーニング作業ユニット26を移動させる。レーザピーニング作業ユニット26が作業を行う横方向の溶接線部に設定されたら、上記と同様に溶接部の表面改質作業を行う。

【0134】以上の実施例6によれば、下記の効果が奏される。

【0135】即ち、現在入手可能な出力が500W程度の可視光レーザである銅蒸気レーザを用いて水中で表面改質補修（引張り応力状態から圧縮応力状態に変える補修）を行うことができるため、炉心シュラウド34の溶接線および表面の引張り応力状態を圧縮応力状態に変える作業を水中で行うことができ、また水が遮蔽材となって作業者の被曝を低減することができる。

【0136】特にレーザービームを用いることにより、ウォータージェットピーニングと異なって表面改質作業時の反力の発生は無視できるため、遠隔取扱い装置の構造が簡単なもので良い。

【0137】また、ショットブラストピーニングと異なり、回収を要するゴミの発生は無い。レーザショットピーニング時には、超音波音響が発生するため、表面改質作業と同時に作業状況の監視および作業結果の評価を行うことができ、したがって監視および計測のために別途装置を用意する必要なく作業効率を向上することができる。

【0138】次に、この実施例6の第1変形例について図16を参照して説明する。

【0139】この変形例は、前述したレーザスポット揺動型のレーザピーニング作業ユニット26のパルスレーザビーム72が射出される射出開口部99に、パルスレーザビーム72の射出方向に平行な水流100を形成するためのノズル101を取付け、水流100中を通してレーザ光を照射してシュラウド内表面の加工を行うものである。

【0140】図16は、パルスレーザビーム72の射出方向に平行な水流100を形成するためのノズル101の構造と、水流系の概念とを示す図である。

【0141】ノズル101構造の長手方向が、図15の紙面に垂直な方向で、射出開口部99に取付けられている。制御室29等に設置されたポンプ103にノズル101をホース105で結合し、その中で水流104を生じさせる。

【0142】ホース105は、複合ケーブル28に含める場合もある。また、ホース105は、ノズル101に取付ける場合においても、その先端が内部にまで差し込まれ、集光組レンズ76の方向に開口部が向くようにする。ホース105の取付け位置を集光組レンズ76の前面部に最も接近した位置にする方法も可能である。

【0143】この第1変形例の作用は、本質的に実施例6と同様であるが、以下の点で異なる。

【0144】即ち、制御室29等に設置されたポンプ103で加圧された水が、ホース105中を水流104として流れ、ノズル101内に流入し、集光組レンズ76の前面を通して向きを変える。そして、水はノズル101の長方形の開孔部106から整流されて流出し、炉心シュラウド116（壁176）に水流100として吹付けられる。この水流100中を、レーザビーム72が集光と揺動を行ないながら、炉心シュラウド34に照射される。以下、実施例6と同様の掃引動作を行い溶接部の表面改質作業を行う。

【0145】このような第1変形例によれば、基本的には実施例6と同様の効果が奏されるが、さらに炉心シュラウド34（壁53）の表面にレーザビーム72が照射された時に発生する気泡や除去金属微粒子を、水流100でレーザビーム72の光路から除去することにより、レーザビーム72がこれ等に吸収あるいは散乱され、炉心シュラウド34（壁53）の表面に到達する光量を削減したり変動することを防止でき、安定した表面改質作業を行えるとともに、必要なレーザ設備能力を削減することができる。

【0146】また、集光組レンズ76に新しい水流を吹き付けることにより、レーザビーム72により集光組レンズ76が熱変形を起こすのを防止することもでき、長時間にわたって安定した表面改質作業を行えるようになる。

【0147】次に、実施例6の第2変形例について、図17を参照して説明する。この変形例は、実施例6のレ

ーザビーム72の射出方向に平行な水流100を形成するためのノズル101に、レーザビーム72の射出方向に垂直な水流112を形成するための別のノズル111を取付け、これらによりシュラウド内表面の加工を行うようにしたものである。

【0148】図17は、レーザビーム72の射出方向に平行な水流100を形成するためのノズル101に対して、レーザビーム72の射出方向に垂直な水流112を形成するための別のノズル111と水流系の概念を示す図である。

【0149】ノズル101は、その長手方向が図15の紙面に垂直な方向となるようにして、射出開口部99に取付けられている。制御室29等に設置されたポンプ103とノズル101とをホース105によって結合し、その中を水流104が流れるようにする。各ノズル101、111の開孔部106、109は、互いに垂直に交差する状態で開孔している。各ホース105、108は、複合ケーブル28に含める場合もある。ホース105は、ノズル101に取付ける場合においても、その先端が内部にまで差し込まれ、集光組レンズ76の方向に開口部が向くようにする。このホース105の取付け位置は、集光組レンズ76の前面部にも最も接近した位置とする方法もある。

【0150】このような第2変形例の作用は、本質的には実施例6と同様であるが、以下の点が異なる。

【0151】即ち、制御室29等に設置されたポンプ103で加圧された水が分岐されてホース108中を水流110となって流れ、ノズル111内に流入し、このノズル111の長方形の開孔部109で整流され、他方のノズル101の開孔部106から流出する水流100と垂直な水流110として流出する。

【0152】レーザビーム72が照射される炉心シュラウド34の表面に他方の水流100の噴流のコアが到達する程度に、一方の水流170の流速を設定する。水流100中をレーザビーム72が集光および揺動されながら、炉心シュラウド34に照射される。以下、実施例6と同様な掃引動作を行い、溶接部の表面改質作業が行われる。

【0153】以上の第2変形例によると、実施例6と同様の効果が得られる上に、炉心シュラウド34（壁53）の表面にレーザビーム72が照射された時に発生する気泡や、削除された金属微粒子を、水流112でレーザビーム72の光路から除去することを、より確実にすることにより、レーザビーム72が気泡や削除された金属微粒子に吸収あるいは散乱された炉心シュラウド34（壁53）表面に到達する光量を削減したり変動させるのを防止し、安定した表面改質作業を行えるとともに、必要なレーザ設備能力を削減することを、より確実に行うことができる。

【0154】次に、実施例6の第3変形例について、図

18を参照して説明する。この変形例は、第2変形例で示したレーザビーム72の出射方向に平行な水流100を形成するためのノズル101に対し、レーザビーム72の出射方向に垂直な水流112を形成するための別のノズル111を取付け、吸い込みの水流系を構成するようにしたものである。

【0155】図18は、レーザビーム72の出射方向に平行な水流100を形成するためのノズル101にレーザビーム72の出射方向に垂直な水流120を形成するためのノズル114と水流系の概念を示す図である。

【0156】ノズル101の長手方向が、図15の紙面に垂直な方向で出射開口部99に取付けられている。制御室29等に設置されたポンプ103とノズル101とをホース105で結合し、その中を水流104が流れるようにする。制御室29等に設置された吸引装置113とノズル114とをホース115で結合し、その中を水流116が流れる。ホース115にはフィルタ装置117が取付けられる。このフィルタ装置117は、吸引装置113からの流出配管部に取付けられることがある。

【0157】各ノズル101、114の開孔部106、119は、それぞれが垂直に開孔している。各ホース105、108は、複合ケーブル28に含める場合もある。ホース105は、ノズル101に取付ける場合においても、その先端が内部にまで差し込まれ、集光組レンズ76の方向に開口部が向くようにする。ホース105の取付け位置は、集光組レンズ76の前面部に最も接近した位置としてもよい。

【0158】このような第3変形例の作用は、本質的には第2変形例と略同様であるが、以下の点で異なる。

【0159】即ち、ノズル101の開孔部106から流出する水流100に垂直に水流119が発生するように、ノズル114の長方形の開孔部119から、制御室29等に設置された吸引装置113と結合されたホース115を介して吸引水流116を発生させる。この水流116中の微粒子は、ホース115の途中に設置されるフィルタ装置117で除去される。水流100中をレーザビーム72が集光および揺動されながら、炉心シュラウド34に照射される。以下、実施例6と同様な掃引動作を行い、溶接部の表面改質作業を行う。

【0160】このような第2変形例によれば、第1変形例と同様な効果が得られる上に、炉心シュラウド34

(壁53)の表面にレーザビーム72が照射された時に発生する気泡や、削除された金属微粒子を、水流100でレーザビーム72の光路から除去し、レーザビーム72が、気泡や削除された金属微粒子に吸収あるいは散乱され、炉心シュラウド34(壁53)表面に到達する光量を削減したり変動させるのを防止し、安定した表面改質作業を行えるとともに、必要なレーザ設備能力を削減することをより確実に行うことができる。また、削除された金属微粒子が原子炉圧力容器内に拡散しないように

回収することにより、金属微粒子による炉内構造物が汚染するのを防止することもできる。

【0161】次に、実施例6の第4変形例について、図19を参照して説明する。この変形例は、実施例6で示したビーム強度調整装置32の出射口に光分配器121を設置し、レーザビーム72を複数のレーザビーム122に分割し、それぞれを光ファイバ123に導き、複数本の光ファイバ123を束ねて光ファイバ束124としてレーザビーニング作業ユニット26に接続するものである。

【0162】レーザビーニング作業ユニット26では、集光ボックス125に光ファイバ123を一行に並べて接続し、光ファイバ123の出口のレンズ系で壁53にレーザビーム122を集光して、スポット列を形成する。集光ボックス125をX、Y軸方向に掃引することにより、一定の範囲を重畳してレーザ光を照射する。

【0163】図19は、この変形例のシステムの概念図である。ビーム強度調整装置32の出射口に光分配器121を設置し、レーザビーム72を複数のレーザビーム122に分割し、それぞれを光ファイバ123に導き、複数本の光ファイバ123を束ねて光ファイバ束124としてレーザビーニング作業ユニット26の集光ボックス125に接続し、壁53にレーザ光122を集光してスポット列を形成してシュラウド内表面の水中レーザ補修を行う。

【0164】ビーム強度調整装置32から出たレーザ光72は、光分割光学系で分割されて複数のレーザ光122となり、それぞれが光ファイバ123に光学系を介して入射する。

【0165】光ファイバ123は、光ファイバ束124となってレーザビーニング作業ユニット26の集光ボックス125の所まで移動する。集光ボックス125に光ファイバ123を一行に並べて接続し、それぞれの光ファイバ123の出口に集光光学系を設置し、レーザ光122が、壁53面に集光してレーザスポット189の列を形成する。

【0166】レーザスポット123の列方向を溶接線方向とし、実施例における長手方向の移動量をレーザスポット127間隔とし、集光ボックス125をスクリューネジとモータ等を利用して長手方向に掃引する。この場合の幅方向の掃引は、揺動ではなく、集光ボックス125をスクリューネジとモータ等を利用した幅方向の掃引とする。

【0167】このような第4実施例の作用は、本質的には実施例6と同様であるが、以下の点で異なる。

【0168】即ち、レーザスポット127の列が、溶接線方向(長手方向)に形成されているため、長手方向の掃引範囲はレーザスポット127間隔であり、溶接線の幅方向の掃引はガルバノミラーを用いるのではなく、集光ボックス125をスクリューネジとモータ等を

利用して幅方向に掃引する点が異なっている。以下、実施例 6 と同様の掃引作業を行い、溶接部の表面改質作業を行う。

【0169】以上の第 4 変形例によっても、実施例 6 と同様の効果が奏される。

【0170】次に、実施例 6 の第 5 変形例について、図 20 を参照して説明する。この変形例は、実施例 6 で示した集光ボックス 125 に集光レンズ 128 を設置し、光ファイバ 123 から出射される複数のレーザビーム 122 を壁 53 の表面に 1 点のレーザスポット 188 として形成するものである。集光ボックス 130 を X、Y 軸方向に掃引することにより、一定の範囲を重量してレーザ光を照射する。

【0171】図 20 は、この変形例のシステムの概念図であり、ビーム強調調整装置 109 の出射口に光分配器 121 を設置し、レーザビーム 72 を複数のレーザビーム 122 に分割し、それぞれを光ファイバ 123 に導く。この場合、複数本の光ファイバ 123 を束ねて光ファイバ束 124 としてレーザビーム加工作業ユニット 26 の集光ボックス 130 に接続する。そして、集光ボックス 130 に設置される集光レンズ 128 により、光ファイバ 123 から出射される複数のレーザビーム 122 を壁 53 の表面に 1 点のレーザスポット 129 として形成し、炉心シュラウド内表面の水中レーザ補修を行う。

【0172】ビーム強調調整装置 32 から出たレーザビーム 72 は、光分割光学系で分割して複数のレーザ光 122 とし、それぞれを光ファイバ 123 に光学系を介して入射する。光ファイバ 123 は、束ねられて光ファイバ束 124 としてレーザビーム加工作業ユニット 26 の集光ボックス 130 の所まで移動させる。集光ボックス 130 に光ファイバ 123 を一列に並べて接続し、それぞれの光ファイバ 123 の出口に集光光学系を設置し、光ファイバ 123 から出射される複数のレーザ光 122 を集光レンズ 128 で壁 53 面に一点に集光してレーザスポット 127 を形成する。レーザスポット 127 は溶接線の方向に掃引し、幅方向に集光ボックス 130 をスクリーネジとモータ等を利用して掃引する。

【0173】このような第 6 変形例の作用は、本質的には実施例 6 と同様であるが、以下の点で異なる。

【0174】即ち、レーザスポット 129 に複数回の照射を行い、パルス間隔の間にレーザスポット径 (0.3  $\phi$  mm) だけ溶接線の幅方向に掃引する。複数回の照射間に時間遅れを設けるため、光ファイバの長さを変えたものを用意する。幅方向への掃引時間 (200  $\mu$  sec) に比較してレーザ照射時間 (40 nsec) は無視できるため、幅方向への掃引は、一定の速度で行い、照射のタイミングを考慮する必要はない。

【0175】溶接線の方向 (長手方向) への掃引は、溶接線の幅方向の掃引時間インターバル毎に、レーザスポット径 (0.3  $\phi$  mm) 以下の距離を 1.5 m/sec 以下の

速度で行う。これ等の掃引は、集光ボックス 186 をスクリーネジとモータ等を利用して行う。以下、実施例 6 と同様の掃引動作を行い、溶接部の表面改質作業を行う。

【0176】以上の変形例 6 によっても、実施例 6 と同様の効果が奏される。

【0177】次に、実施例 6 の第 7 変形例について説明する。この変形例は、実施例 6 で示した光ファイバ 123 から出射される複数のレーザビーム 122 を、集光レンズ 128 により壁 53 の表面に全てのレーザスポットが直線状 (溶接線の幅方向) に接するように形成する。この変形例 7 では、実施例 6 と異なり、光ファイバ 123 の長さは揃っている。そして、1 点におけるレーザ照射回数を複数にするため、パルス間隔の間にレーザスポット径 (0.3  $\phi$  mm) だけ溶接線の幅方向に掃引する。溶接線の方向の掃引を第 6 変形例と同様に行うことにより、一定の範囲を重量してレーザ光を照射する。

【0178】このような第 7 変形例の作用は、本質的には実施例 6 と同様である。

【0179】この第 7 変形例によっても、実施例 6 と同様の効果が奏される。

【0180】次に、実施例 6 の第 8 変形例について、図 21 を参照して説明する。この変形例は、実施例 6 で示したパルスレーザ装置 31 の出射口にダイクロイックミラー 131 を設置し、2 種類のレーザビーム 132, 77 を光分配器 121 で複数の光ファイバ 133 に導き、光ファイバ束にしてレーザビーム加工作業ユニット 144 の集光ボックス 135 に接続し、集光レンズ 134 を介して壁 53 の表面に 1 点のレーザスポット 138 として形成するものである。集光ボックス 135 を X、Y 軸方向に掃引することにより一定の範囲を重量してレーザ光を照射する。

【0181】図 46 は、この変形例 8 のシステム概念図である。パルスレーザ装置 31 の出射口にダイクロイックミラー 131 を設置し、レーザビーム 139 を複数のレーザビーム 132, 77 に分割し、それぞれを光分配器 121 に導き、さらにビームを分割して複数の光ファイバ 133 に導く。この場合、複数本の光ファイバ 133 を束ねて光ファイバ束 136, 137 とし、また波長の長いレーザビームを導く光ファイバ束を長くして、レーザビーム加工作業ユニット 26 の集光ボックス 135 に接続する。そして、集光ボックス 130 に設置される集光レンズ 134 で、光ファイバ 133 から出射される複数のレーザビーム 140, 141 を壁 53 の表面に 1 点のレーザスポット 138 として形成し、炉心シュラウド内表面の水中レーザ補修を行なう。

【0182】パルスレーザ装置 31 から出たレーザビーム 139 は、ダイクロイックミラー 131 で分割されてレーザビーム 132, 77 となり、各ビームは光分配器 121 に導かれる。さらに、各ビームは分割されて複数

の光ファイバ133に光学系を介して入射される。

【0183】光ファイバ133は、束ねて光ファイバ束136、137とし、また波長の長いレーザ光を導く光ファイバ束を長くしてレーザビーニング作業ユニット26の集光ボックス135の所まで移動する。

【0184】集光ボックス135に光ファイバ133を一系列に並べて接続し、それぞれの光ファイバ133の出口に集光光学系を設置し、光ファイバ133から出射される複数のレーザビーム140、141を集光レンズ134で壁53面に一点に集光してレーザスポット138を形成する。レーザスポット138は溶接線の方に掃引し、幅方向に集光ボックス135をスクリュネジとモータ等を利用して掃引する。

【0185】このような第8変形例の作用は、本質的に実施例6と同様であるが、以下の点で異なる。

【0186】即ち、レーザスポット138に複数回の照射を行ない、パルス間隔の間にレーザスポット径(0.3φmm)だけ溶接線の幅方向に掃引する。複数回の照射で波長の短いレーザビームを先に照射し、一定時間後に波長の長いレーザビームを照射する等の時間遅れを設ける。

【0187】このため、波長の長いレーザビームには長さの大きい光ファイバを用いる。つまり、同じ波長でも照射時間を遅らせるものには光ファイバの長いものを用いる。

【0188】幅方向への掃引時間(200μsec)に比較してレーザ照射時間(40nsec)は無視出来るため、幅方向への掃引は、一定の速度で行ない、照射のタイミングを考慮する必要はない。溶接線の方(長手方向)には、溶接線の幅方向の掃引時間インターバル毎にレーザスポット径(0.3φmm)以下の距離を1.5m/sec以下の速度で掃引する。

【0189】これ等の掃引は、集光ボックス130をスクリュネジとモータ等を利用して行なう。以下、実施例6と同様の掃引動作を行ない、溶接部の表面改質作業を行なう。

【0190】以上の第8変形例によれば、実施例6と同様の効果に加え、レーザビーム利用率の向上が図れる。即ち、波長の短いレーザは、長いものに比べて光の吸収率が高く、温度が上昇すると光の吸収率が上昇するため、波長の短いレーザを先に照射して表面温度を上昇させ、それから波長の長いレーザを照射することにより、レーザ光の利用効果を向上することが出来、レーザ設備能力を削減することができる。

【0191】次に、実施例6の第9変形例を、図22～図25を参照して説明する。この変形例はリンク式アームを有する遠隔補修装置を原子炉圧力容器内に上方からワイヤで吊り下げ、炉心中心部の上部格子板開孔部を通過させ、炉心支持板に設置する。そして、リンク式アームの先端に取付けたレーザ照射装置で可視光のパルスレ

ーザ光を、一定範囲ずつポリゴンミラーを使用してレーザスポットを走査しながら照射して、炉心シュラウド内表面の加工を行う。

【0192】図22は、ポリゴンミラー使用のレーザスポット走査型レーザビーニング作業ユニット142の正面図である。レーザビーニング作業ユニット143は、取付構造部144で、折畳み式アーム24のロッド69先端の補修作業ユニット取付部70と結合される。

【0193】間隔的に配置した2枚の端板構造部145間には、取付構造部144、スクリュネジ146およびスライド棒147が結合されている。スライド棒147は移動板148を貫通し、これにスクリュネジ146が移動板148のボールネド149で結合している。駆動装置150を働かせてスクリュネジ146を回転させ、スライド棒147をガイドとして移動板148をスライドさせる。移動板148に取付台151がスプリング151aを介して結合されている。

【0194】取付台151に取り付けられた車輪形式の脚152を壁面153に押し付け、レーザビーニング作業ユニット142を設置する。光ファイバ154で導かれたレーザ光は、組レンズ155で平行光線となり、偏光ミラー156、ミラー157を介してポリゴンミラー158に導かれ、反射して壁面153に像を結ぶ。

【0195】ポリゴンミラー158と爪159とをアクチュエータ160で回転させ、シリンダ161の各爪162、159を互いに接触させ、スプリング163の弾性力に抗して各爪162、159の接触が外れるまでシリンダ161を移動させ、壁面153へのレーザビーム164の照射を幅方向に掃引させる。長手方向の掃引は、駆動装置150でスクリュネジ146を回転させ、移動板148を移動させることにより、車輪付き脚152を壁面153上で回転移動させて行なう。

【0196】図23は、ポリゴンミラー使用のレーザスポット走査型レーザビーニング作業ユニット142の側面図であり、図24および図25は、ポリゴンミラー使用レーザスポット走査機構部の詳細概念図である。

【0197】ポリゴンミラー158と爪159とはアクチュエータ160により回転する。この回転に伴い、シリンダ161は爪159、162が接触している間は引き上げられ、爪159、爪162が離れると、スプリング163により、もとの位置に戻る構造になっている。

【0198】一方レーザビーム164は、図示はしない光源側でファラデーローテータおよびシャッター等で照射のON・OFF切替が可能な構造となっており、レーザビーム164は偏光ミラー156、ミラー157およびポリゴンミラー158で反射され、壁面153に照射する構造となっている。

【0199】また、偏光ミラー156で反射しなかったレーザビーム164は、ビームダンパ165により吸収される。なお、図示しないが、ビームダンパ165は冷

却機により常時冷却される。

【0200】このような第9変形例の作用は、本質的には実施例6と同様であるが、多面鏡のポリゴンミラーを一定角速度で回転させて鋸歯掃引を行ない、同期させてミラー157の高速の原点復帰動作を行なうようにした点が異なる。

【0201】以上の第9変形例によれば、実施例6と同様の効果が奏されることに加え、ポリゴンミラーを用いたことにより、溶接線の幅方向の掃引速度（ポリゴンミラーの回転角速度）を一定にし、また溶接線に沿っての掃引速度（長手方向の掃引速度）で掃引して一定範囲を複数回レーザ照射を行なうことで表面改質を行なうことができるため、制御系が簡単になり、機器に対しても大きなモーメント変化を起こす必要が無く、機器の強度上でも有利である。上記の掃引方法では、レーザ照射ポイントの列が溶接線に対して斜めになるが、作業上、何等問題はない。

#### 【0202】

【発明の効果】以上で詳述したように、本発明によれば、原子炉内部構造物の予防保全および補修に関わる、構造物材料表面の残留応力改善、亀裂除去、クラッド除去を行うことができ、さらに、簡便、高品質で、周辺機器に影響を及ぼさず、狭隙部への適用性がよい加工方法および装置を提供することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例1を示すもので、レーザビームを照射して残留応力改善を行う場合の図。

【図2】同実施例におけるレーザビームの照射方法の概念を示す図。

【図3】典型的なレーザビームの照射方法を示す図。

【図4】改良されたレーザビームの照射方法を示す図。

【図5】照射スポット形状を変えた場合の照射方法を示す図。

【図6】照射スポット形状を変えた場合の照射方法を示す図。

【図7】本発明の実施例2を示し、レーザを照射して亀裂除去を行う場合の図。

【図8】本発明の実施例4を示し、レーザを照射してクラッド除去を行う場合の図。

【図9】本発明の実施例5における作業手順を示すフローチャート。

【図10】同実施例における照射ビームの重畳率の分布を示す図。

【図11】本発明の実施例6を示すもので、レーザを照射してシュラウド内面の補修状態の図。

【図12】本発明の実施例6を示すもので、レーザを照射してシュラウド内面の補修状態の図。

【図13】同実施例によるシュラウド内面補修ロボットに治工具を取付けている様子を示す図。

【図14】同実施例によるシュラウド内面補修ロボット

を示す図。

【図15】同実施例によるレーザビーニング作業ユニットの構成を示す図。

【図16】同実施例によるレーザ光出射方向の水流発生の様子を示す図。

【図17】同実施例によるレーザ光出射方向および垂直方向の水流発生の様子を示す図。

【図18】同実施例によるレーザ光出射方向の水流出射および垂直方向の水流吸い込み方法を示す図。

【図19】同実施例による複数レーザスポットの同時照射方法を示す図。

【図20】同実施例による複数レーザ光の1点への同時照射方法を示す図。

【図21】同実施例による波長の異なる複数レーザ光の1点への同時照射方法を示す図。

【図22】同実施例によるポリゴンミラー使用のレーザビーニング作業ユニットを示す正面図。

【図23】図22のA-A線断面図。

【図24】同実施例によるポリゴンミラー使用のレーザスポット走査機構部の詳細を示す図。

【図25】図24のB-B線断面図。

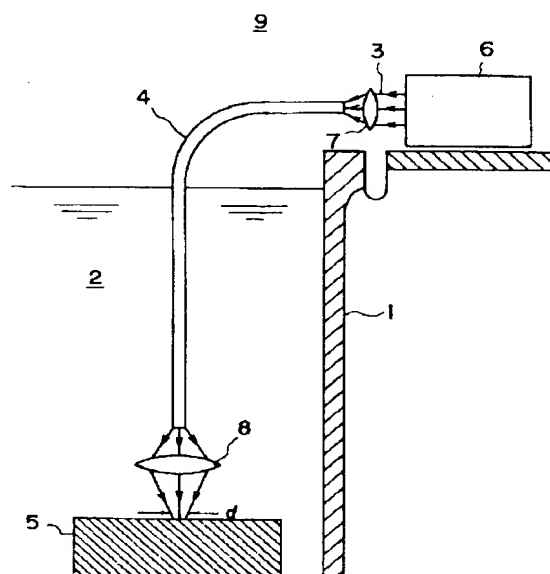
#### 【符号の説明】

- 1 原子炉压力容器
- 2 冷却水
- 3 レーザビーム
- 4 光ファイバ
- 5 原子炉内部構造物
- 6 パルスレーザ装置
- 7 入射レンズ
- 8 集光レンズ
- 9 原子炉ピット
- 10 照射スポット
- 11 施工単位領域
- 12 加工ヘッド
- 13 CCDカメラ
- 14 亀裂
- 15 モニタ
- 16 信号ケーブル
- 17 クラッド
- 21 原子炉压力容器
- 22 上部格子板
- 23 炉心支持板
- 24 折りたたみ式アーム
- 26 レーザビーニング作業ユニット
- 28 複合ケーブル
- 29 制御室
- 30 操作盤
- 31 パルスレーザ装置
- 32 ビーム強度調整装置
- 33 ジェットポンプ

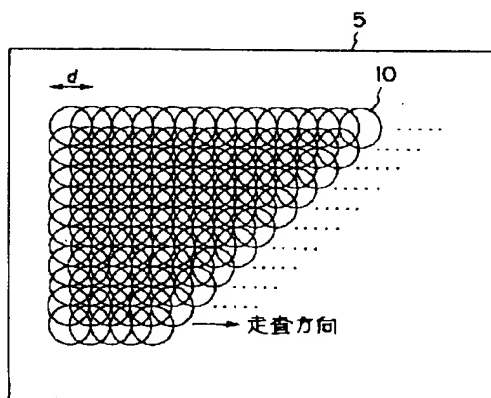


3 4	シュラウド	1 0 1	ノズル
3 5	アニュラス部	1 0 3	ポンプ
3 6	炉容器下部室	1 0 4	水流
3 7	上部ケース	1 0 5	ホース
3 8	下部ケース	1 0 6	開孔部
3 9	ワイヤー	1 0 8	ホース
4 0	開孔部	1 0 9	開孔部
4 1	開孔部	1 1 0	水流
4 2	制御棒駆動装置ハウジング	1 1 1	ノズル
4 3	上部ケース案内装置	1 1 2	水流
4 4	下部ケース案内装置	1 1 4	ノズル
4 5	固定用脚	1 1 5	ホース
4 6	エアシリンダー	1 1 6	水流
4 8	ワイヤー	1 1 7	フィルター装置
4 9	バランサー	1 1 9	開孔部
5 0	補修作業ユニット搬送装置	1 2 0	水流
5 2	補修作業ユニット	1 2 1	光分配器
5 3	壁	1 2 2	レーザ光
5 4	取付け部	1 2 3	光ファイバ
5 5	ガルバノミラー	1 2 4	光ファイバ束
5 6	揺動装置	1 2 5	集光ボックス
5 7	スポット径調整機構	1 2 7	レーザスポット
5 8	CCDカメラ	1 2 8	集光レンズ
5 9	長手方向駆動モータ	1 2 9	レーザスポット
6 0	超音波検出器	1 3 0	集光ボックス
6 1	脚	1 3 1	ダイクロイックミラー
6 2	原子炉ピット	1 3 2	レーザ光
6 3	モータ	1 3 3	光ファイバ
6 4	組歯車	1 3 5	集光ボックス
6 5	据付案内装置	1 3 4	集光レンズ
6 7	接続部材	1 3 6	光ファイバ束
6 8	上部格子板下方室	1 3 7	光ファイバ束
6 9	アーム	1 3 8	レーザスポット
7 0	補修作業ユニット取付け台	1 3 9	レーザ光
7 2	レーザ光	1 4 0	レーザ光
7 3	スポット点	1 4 1	レーザ光
7 6	集光組レンズ	1 5 3	壁面
7 7	レーザ光	1 5 6	偏光ミラー
7 8	滑車	1 5 7	ミラー
7 9	信号ケーブル	1 5 8	ポリゴンミラー
8 0	筐体	1 5 9	爪
8 4	シャッター	1 6 0	アクチュエータ
8 6	第1反射鏡	1 6 1	シリンダー
8 7	第2反射鏡	1 6 2	爪
9 4	スクリュウネジ	1 6 3	スプリング
9 9	出射開口部	1 6 4	レーザ光
1 0 0	水流	1 6 5	ビームダンパー

【図 1】



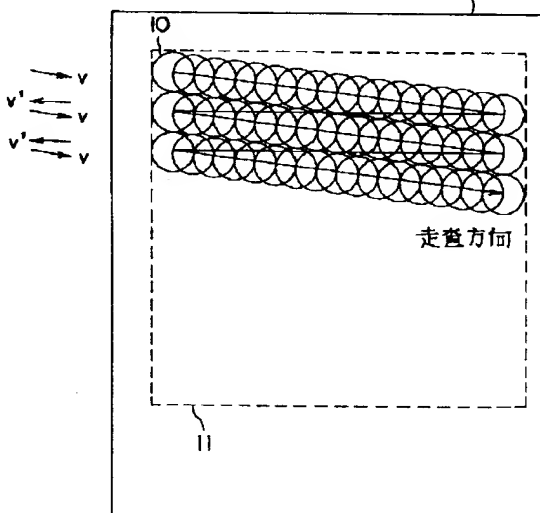
【図 2】



【図 4】

走査速度

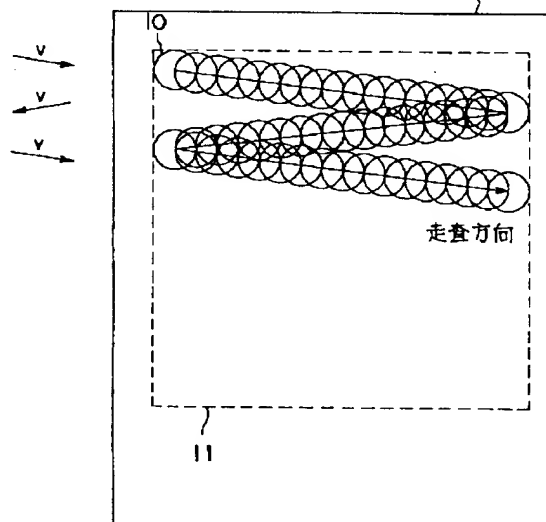
5



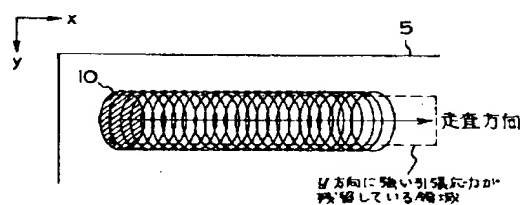
【図 3】

走査速度

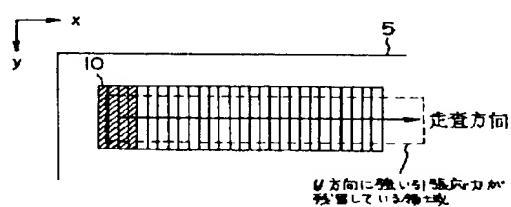
5



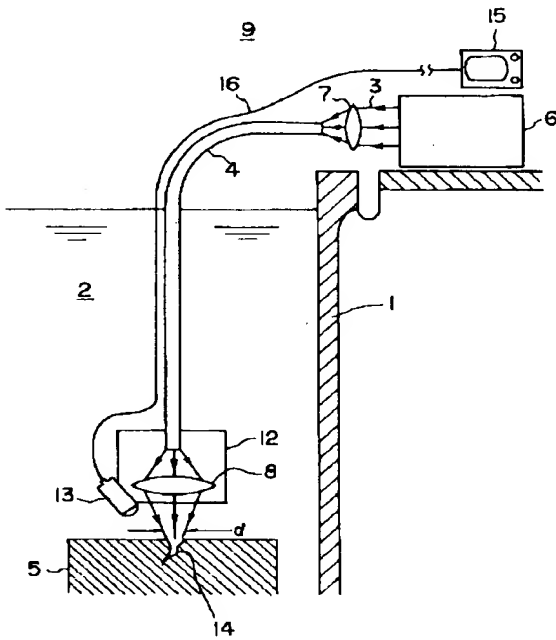
【図 5】



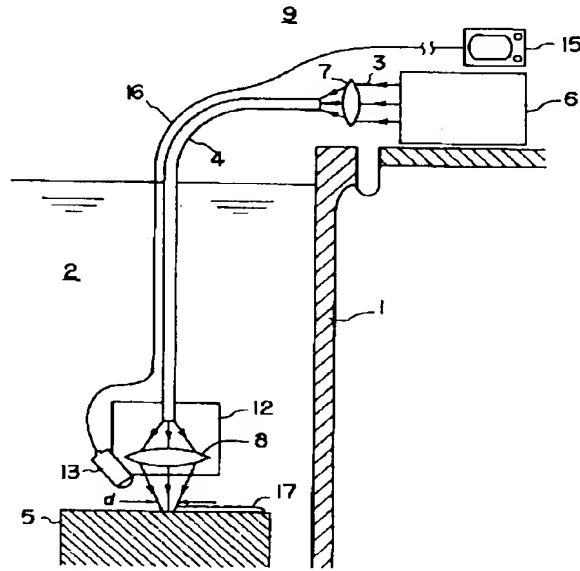
【図 6】



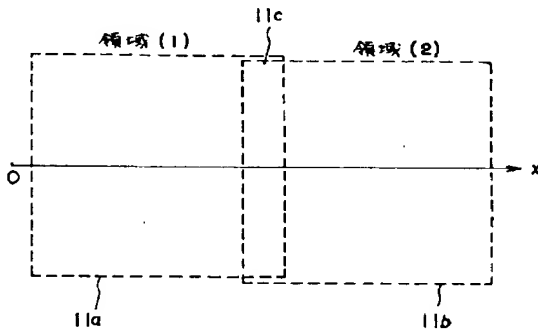
【図 7】



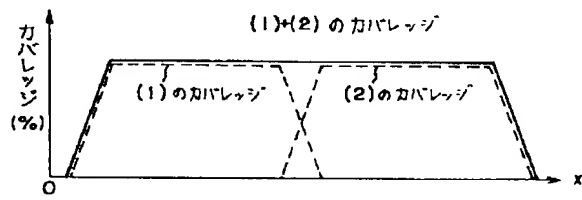
【図 8】



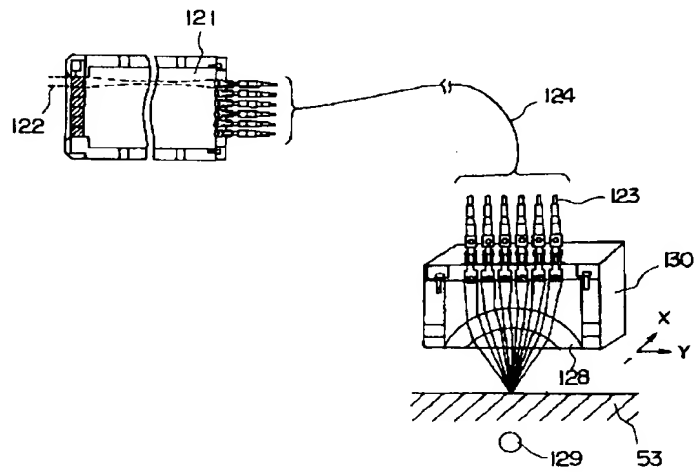
【図 10】



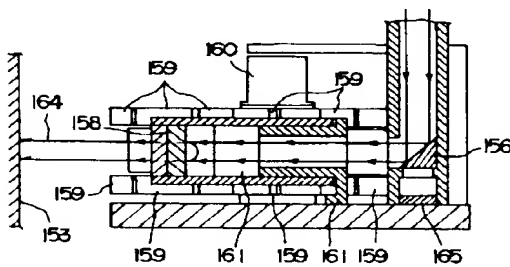
【図 11】



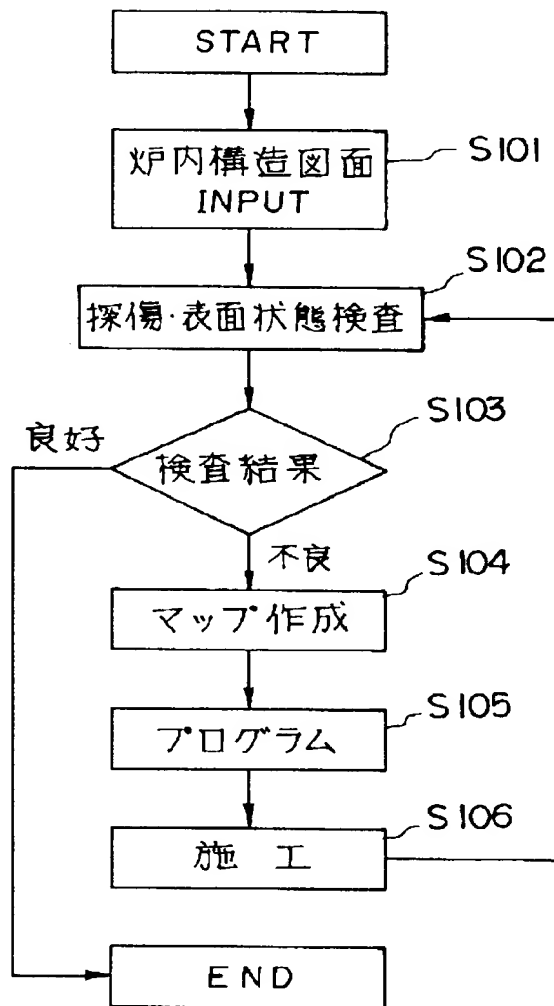
【図 20】



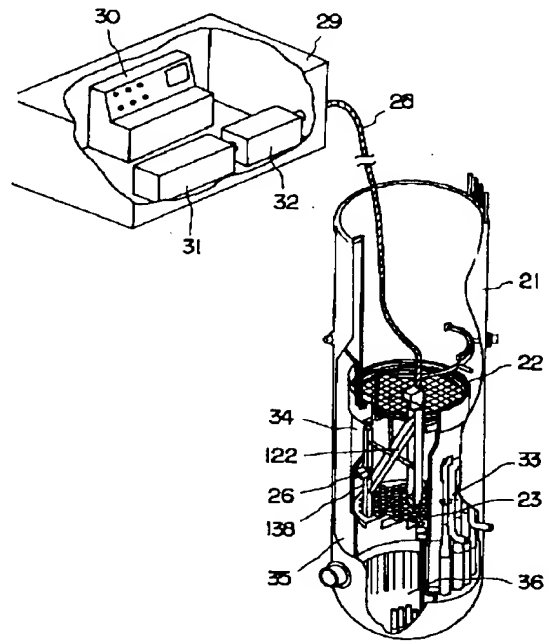
【図 25】



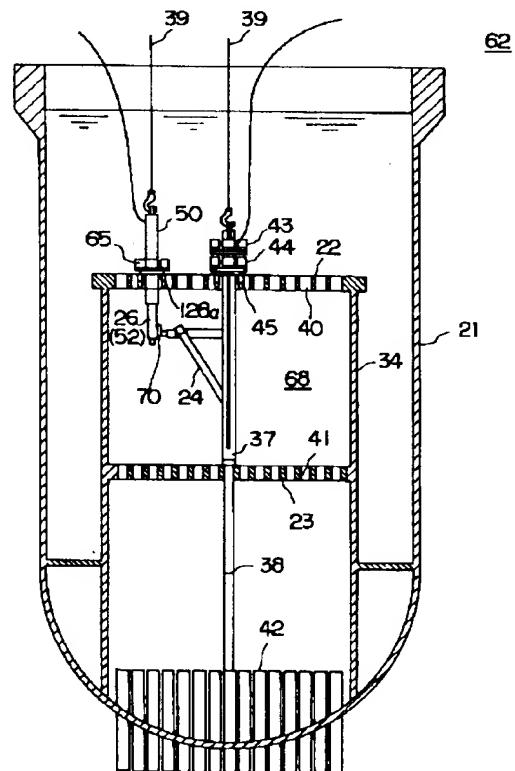
【図9】



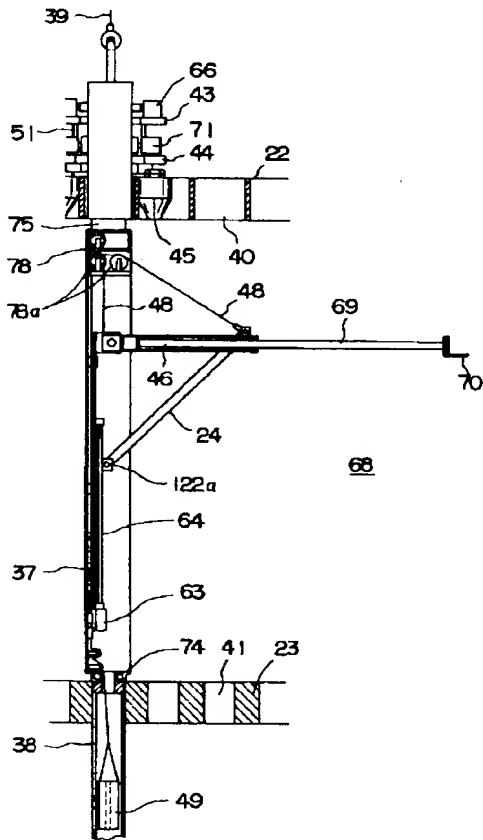
【図12】



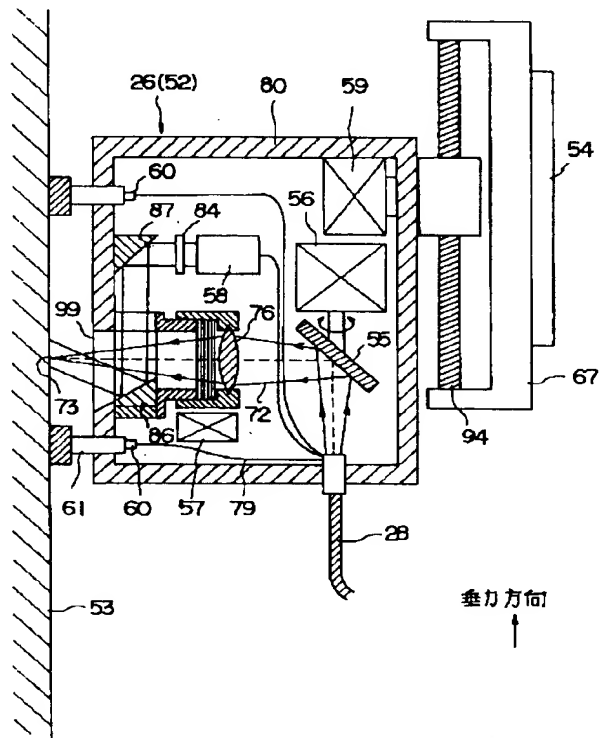
【図13】



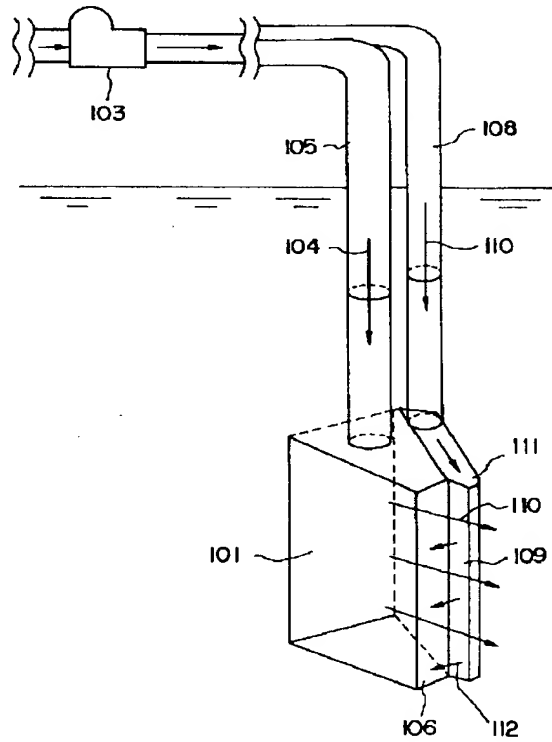
【図14】



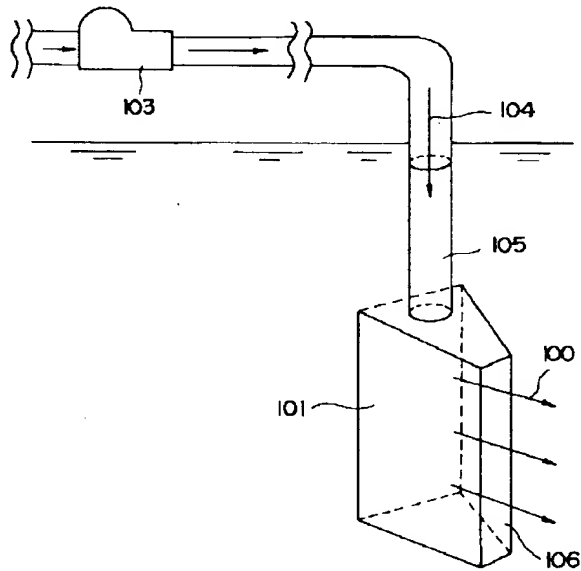
【図15】



【図17】

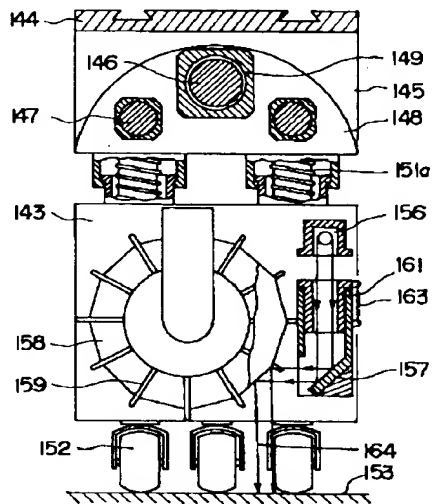


【図16】

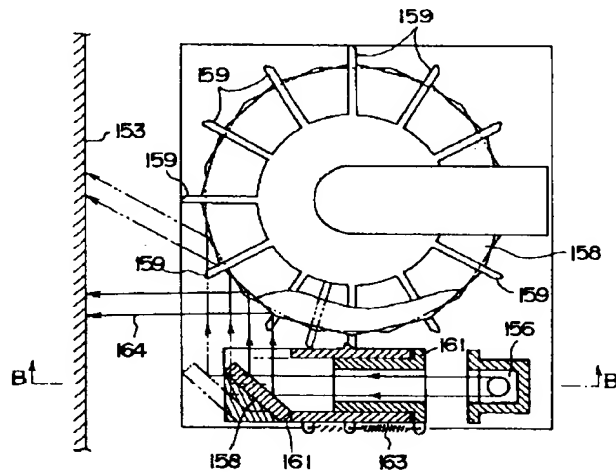




【図 23】



【図 24】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

B 2 3 K 37/02

G 2 1 C 19/02

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

A

J

(72)発明者 佐野 雄二

神奈川県横浜市磯子区新杉田町 8 番地 株  
式会社東芝横浜事業所内

(72)発明者 向井 成彦

神奈川県横浜市磯子区新杉田町 8 番地 株  
式会社東芝横浜事業所内

(72)発明者 青木 延忠

神奈川県横浜市磯子区新杉田町 8 番地 株  
式会社東芝横浜事業所内

(72)発明者 小長井 主税

神奈川県横浜市磯子区新杉田町 8 番地 株  
式会社東芝横浜事業所内

(72)発明者 菊永 宗芳

神奈川県川崎市幸区堀川町 66 番 2 東芝エ  
ンジニアリング株式会社内